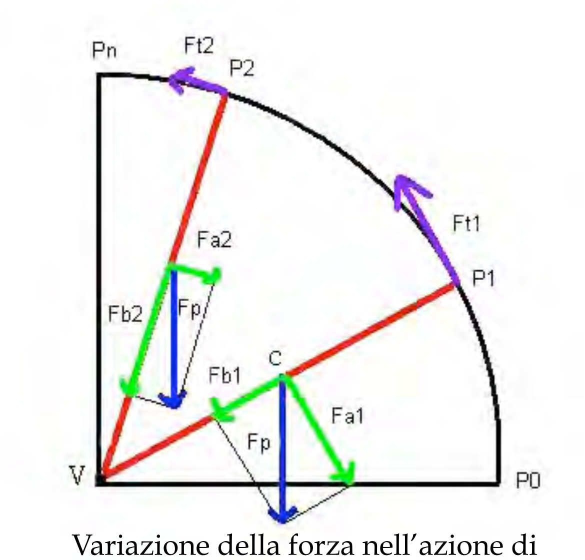
Giorgio Ponzio

BREVI NOTE SUI PONTI LEVATOI

CON RIFERIMENTI A EXILLES E TORINO

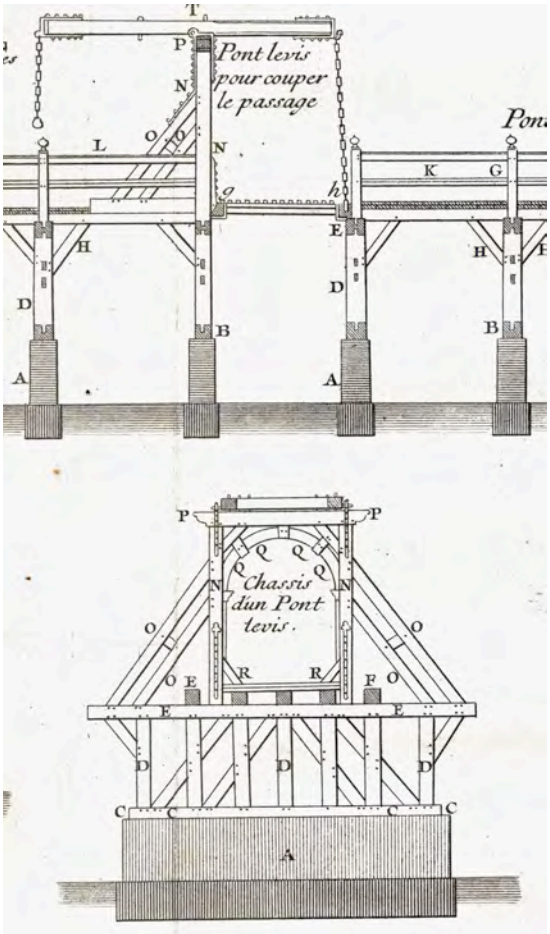
Il concetto di difesa tramite ponti è molto antico. L'esempio più classico è rappresentato dai villaggi palafitticoli: le passerelle di accesso alla capanne potevano facilmente essere rimosse garantendo una certa sicurezza da intrusioni non gradite.
Questa scelta, nonostante la sua antica applicazione, non ebbe seguito. Infatti le grandi civiltà del passato (mesopotamica, egizia, greca e romana) non utilizzarono in linea di massima ponti per sicurezza dell'ingresso delle città o delle rocche: le porte erano difese esclusivamente da robusti portoni, saracinesche, e da una difesa fiancheggiante tramite torri e piombante. Anche se vi era fossato l'ingresso era per lo più a raso con il piano di campagna in quanto il fossato stesso si interrompeva in corrispondenza della porta o tutt'al più vi era un ponte fisso da demolirsi all'occorrenza, con tutte le limitazioni operative successive. Le porte romane giunte fino a noi confermano non avere altri mezzi di difesa oltre il fiancheggiamento. Nell'alto medioevo, nei castelli, la sicurezza si ottenne alzando l'ingresso ad alcuni metri da terra: ritirando la scala d'accesso dall'alto ci si poteva difendere da attacchi nemici non sempre ben organizzati. Bisognerà aspettare fino al XII secolo perché compaia una nuova struttura difensiva: il ponte levatoio [1].
In ben ottocento anni si elaborarono numerosi e diversissimi meccanismi per "levare" i ponti, ognuno con i suoi pregi ed i suoi difetti. Trattarne equivarrebbe a scrivere un libro, ci limiteremo quindi ad esporre alcuni esempi.
Per prima cosa divideremo i ponti in due categorie: a sollevamento e a scorrimento.
Il ponte a sollevamento è il più classico, il più conosciuto ed applicato. Il principio fisico di funzionamento si basa sull'applicazione della leva di secondo tipo. Riassumendo al massimo siano V il fulcro, P il punto di applicazione della forza per sollevarlo, C il punto centrale del ponte in cui si considera concentrato il peso (Fp). Sollevandosi il ponte il peso si scompone secondo il parallelogrammo delle forze in Fa e Fb che variano progressivamente passando da P0 a P1, P2 e Pn, ossia Fa passa da uguale a Fp in P0 a zero in Pn; Fb viceversa da zero a uguale Fp, scaricando tutto il peso sul fulcro. Conseguentemente deve variare la forza applicata per sollevarlo Ft. La stessa situazione si verifica abbassando il ponte. Queste variazioni sono indispensabili per evitare che il ponte vada a sbattere violentemente contro i piedritti della porta (Pn)o si abbatta rovinosamente sul battiponte (P0).

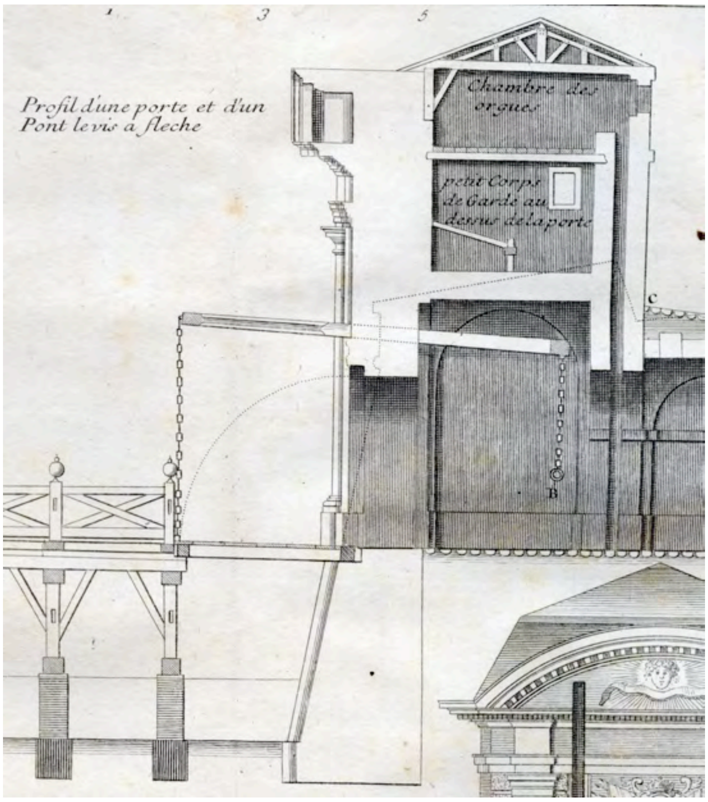


Variazione della forza nell'azione di una leva di secondo tipo, caso specifico di un ponte levatoio.

[1] Cantù C.: pag. 421

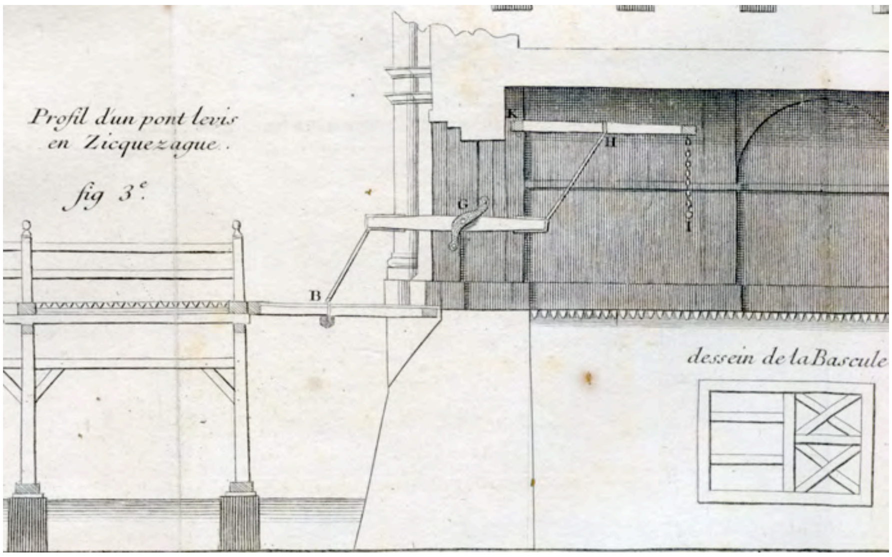
I vari meccanismi elaborati hanno quindi il fine di regolare il movimento e, cosa altrettanto importante, ridurre al minimo la forza necessaria per spostare il ponte dai suoi due punti di equilibrio P0 e Pn.
Nei ponti del primo tipo il sollevamento si aveva tramite due travi, dette FRECCE o BOLZONI [FLECHES], imperniate sopra la Porta, che all'estremità esterna erano unite a quella del Ponte da catene, mentre la parte interna portava la pesante incastellatura lignea del contrappeso necessario per il movimento, detta BILICO O BASCULLA [BASCULE]
Ponti a Frecce sono riportati, dalla trattatistica, nelle figure sottostanti.



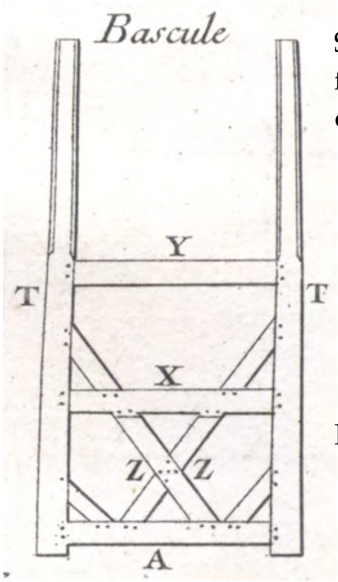


Profilo di un ponte levatoio a frecce del Belidor

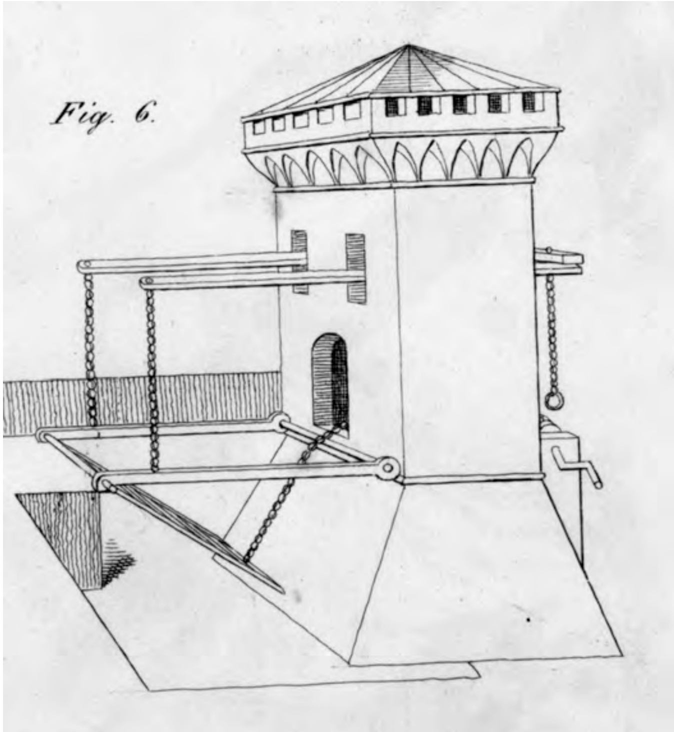
Ponte levatoio a frecce inserito a bloccare un ponte fisso del Belidor



Ponte levatoio a frecce a zigzag, particolare variante sul tema

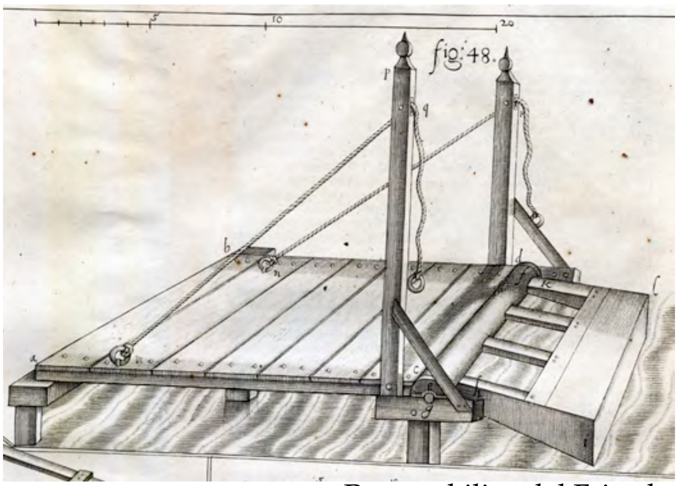


Struttura delle frecce e del bilico del Belidor



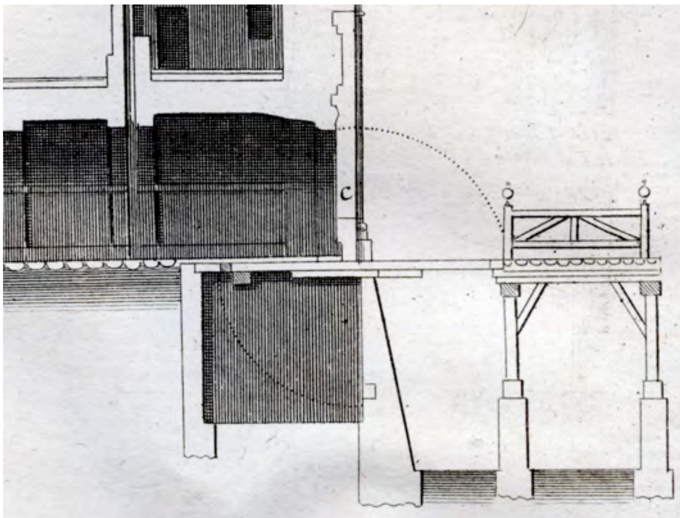
Particolare progetto di ponte "a doppio movimento" ipotizzato da Francesco di Giorgio Martini

Particolare è quello ideato da di Giorgio Martini. La possibilità di sapere a distanza se il Ponte era sollevato o no (Frecce sporgenti orizzontali o no) e di rompere le Frecce a cannonate fece abbandonare questa tecnica per altre più sicure.
Un alternativa è costituita dal PONTE A BILICO.
Con il termine Ponte a Bilico si intende propriamente un Ponte le cui travi, imperniate a livello della soglia, proseguono all'interno, sotto il pavimento d'ingresso, in un locale detto GABBIA DEL BILICO [CAGE DE LA BASCULE] ove è posto il contrappeso. Abbassando il contrappeso tramite corde, catene, particolari meccanismi il Ponte si alza. Questa soluzione non ebbe particolare successo causa l'indebolimento del muro di scarpa della porta per ricavare il locale della Gabbia del Bilico.

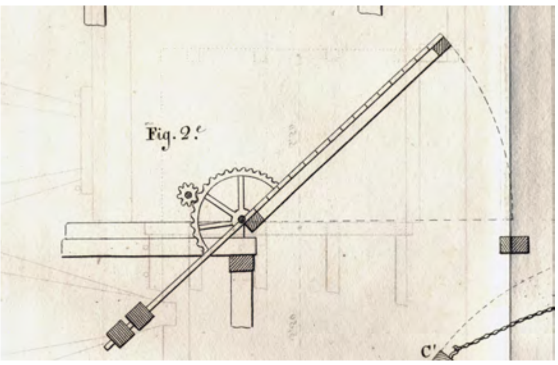


Ponte a bilico del Fritach

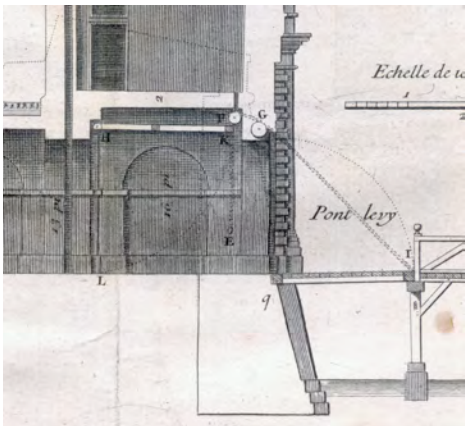
Ponte a bilico del Belidor

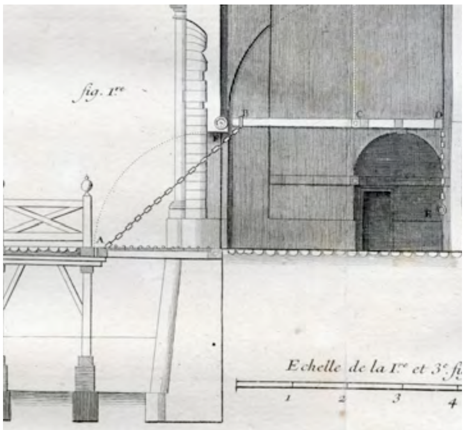


Ponte a bilico del Dufour

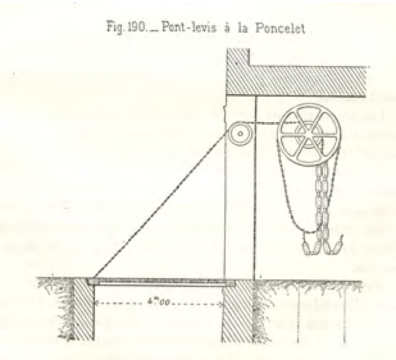


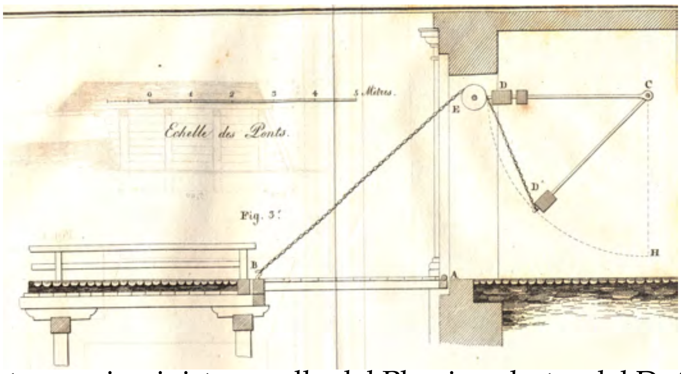
Alternativa è sollevare il ponte tramite catene mosse tramite vari sistemi come giochi di frecce interne alla porta, giochi di contrappesi.





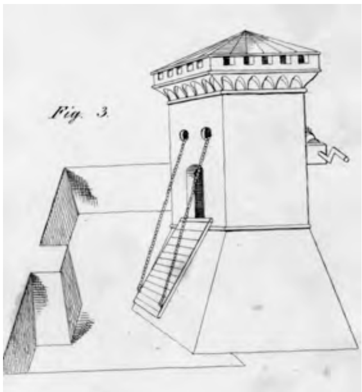
Esempi di ponti a catene e frecce "interne" del Belidor

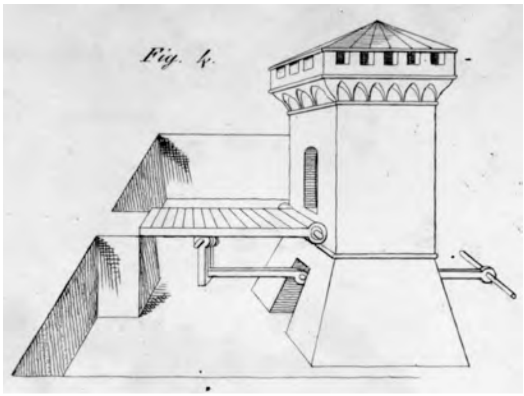




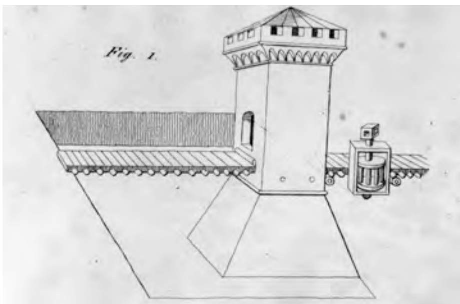
Ponti a catene e giochi di contrappesi a sinistra quello del Plessix a destra del Dufour

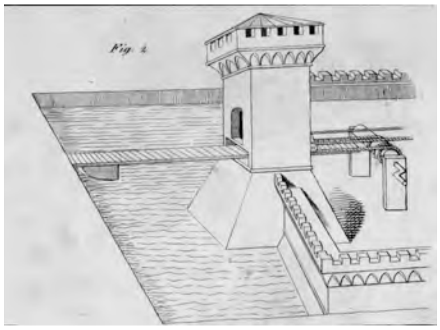
Particolari sono i ponti "ad abbassamento" ideati, come al solito, da Francesco di Giorgio Martini, un primo che si abbassa nel fossato tramite argano e catene, il secondo che si abbassa tramite leve Il secondo tipo sono i ponti a a scorrimento. Anche questi rintracciabili nell'opera di Francesco di Giorgio Martini. Il movimento può essere a cremagliera, collegabile a complessi sistemi di sicurezza con simultaneo movimento di saracinesche o porte girevoli, oppure tramite argani e corde





Ponti a scorimento secondo Francesco di Giorgio Martini



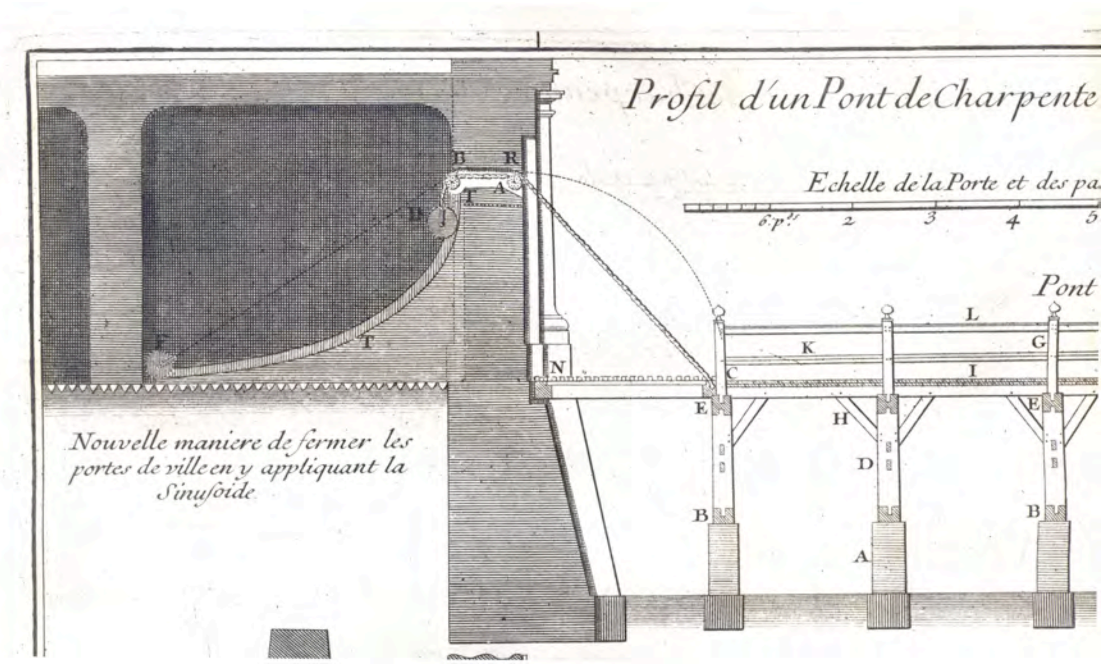


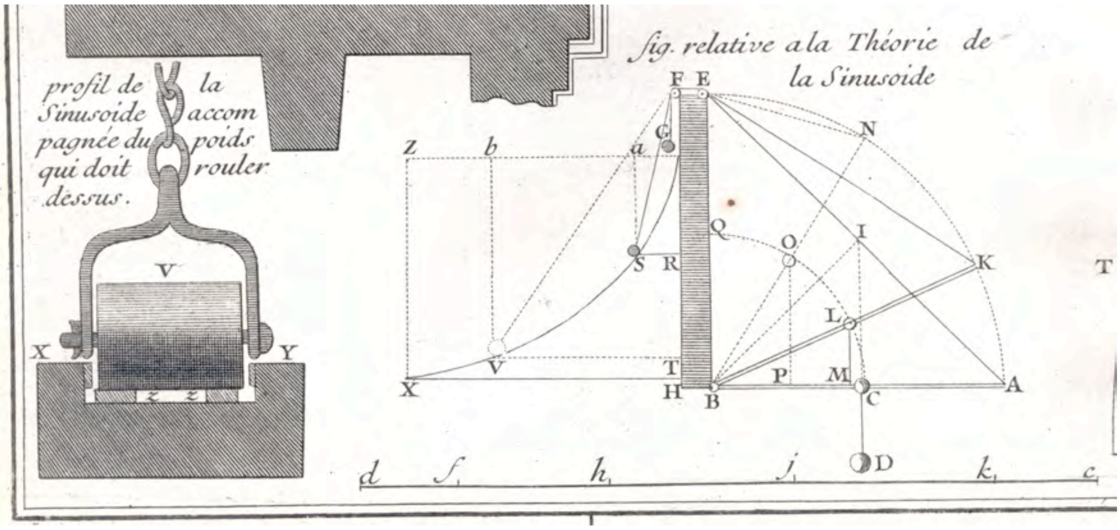
Ponti ad abbassamento secondo Francesco di Giorgio Martini

IL CASO DI EXILLES

Al forte di Exilles negli anni trenta dell'ottocento è stato realizzato il modello di ponte levatoio ideato dal Belidor agli inizi del settecento. L'autore così lo descrive (edizione 1864).

Nuovo ponte levatojo.
A ben comprendere il ponte da me immaginato, ecco a quale ragionamento mi sono attenuto. Suppongasi che AB sia una leva senza peso, nel mezzo della quale (Fig. 1 Tav. XIX) pongasi il peso D che si considererà come concentrato nel punto C; suppongasi che una delle estremità B possa girare intorno ad un punto fisso e che all'altra estremità A si attacchi una corda che passi su due puleggie E, F, per sopportare un peso G il quale faccia equilibrio con quello della leva: finalmente che sia BE = BA. Perchè G faccia equilibrio col peso D, bisogna che l'uno stia all'altro in ragion inversa delle perpendicolari condotte dal punto d'appoggio B sulle linee di direzione CD ed AE; cioè il peso G deve stare al peso D come BC: BI, cioè come il lato d'un quadrato sta alla sua diagonale. Per conseguenza, si potrà all'uopo, invece dei pesi G e D, prendere le linee BC e BI, che stanno nello stesso rapporto. Ora se si desse ad una leva AB una situazione obliqua KB, è certo che l'equilibrio sarebbe tolto, e che il peso D non agendo più secondo una direzione perpendicolare alla leva K B, non produrrebbe gli stessi sforzi di prima per contrabbilanciare p azione del peso G. Quest'ultimo discenderà precipitosamente lunghesso la verticale F H, sino a tanto che il peso K sia giunto in E; nè può essere altrimenti, ammenochè il peso G scendendo non incontri ostacoli che diminuiscano l'azione della sua gravità assoluta. Se questi ostacoli fossero prodotti da piani inclinati, le cui diverse inclinazioni fossero proporzionali ai seni degli angoli come MLB, che diventano sempre più piccoli di mano in mano che la leva s'accosta alla verticale, è certo che questi piani inclinati produrrebbero l'equilibrio del peso D col peso G, qualunque fosse la situazione della leva. Ma perciò è necessario che i piani cangino ad ogni momento, e che ciascuno in particolare comprenda uno spazio infinitamente piccolo: da cui nasce che formeran tutti insieme una curva YSVX; tutto riducesi dunque a sapere come si debba costruir questa curva perchè i due pesi sien sempre in equilibrio, in tutte le situazioni in cui può trovarsi la leva venendo da A in E.
Quando l'estremità A della leva BA descriverà il quadrante circolare ANE, venendo a toccare il punto E, l'estremità della linea BC, descriverà il quarto di cerchio CQ. Ora giunto il punto A in K



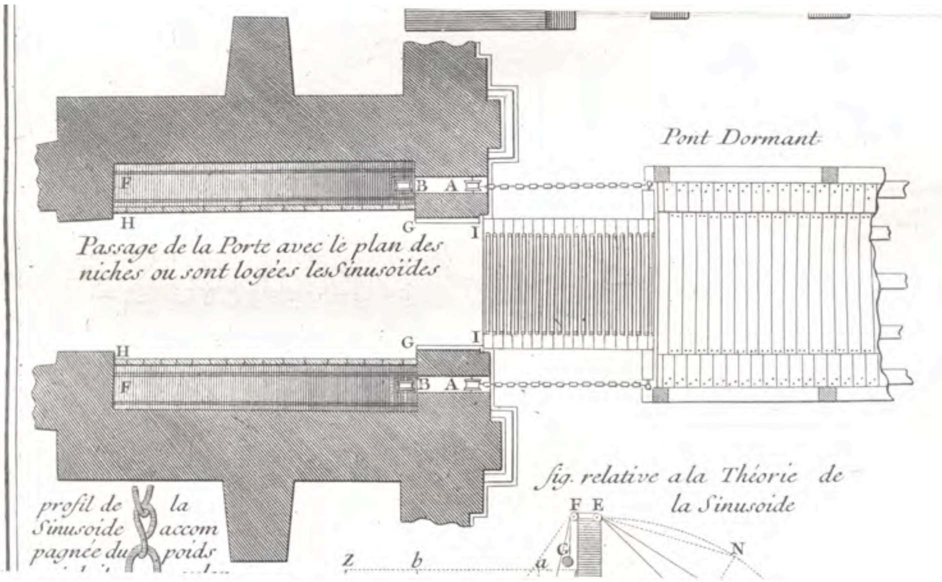


e d i n N, il peso C sarà giunto in L ed in O, e sarà salito ad una altezza espressa dalle perpendicolari LM ed OP, che sono i seni degli angoli formati dalla leva e dal raggio AB. Può dunque dirsi che tutti i seni del quarto di cerchio CQ , cominciando dal più piccolo, esprimeranno di seguito il cammino che il peso C farà nel tempo che l'estremità A della leva percorrerà i punti del quarto di cerchio ANE. Ma basta perchè i pesi L e G sieno in equilibrio, nella situazione in cui è la leva KB, che la elevazione M L del primo stia alla discesa verticale YR del secondo, in ragion reciproca del peso assoluto di questi due gravi; e siccome lo stesso deve accadere in tutte le altre situazioni della leva e del peso G, poichè i lor movimenti dipendono sempre l'uno dall'altro, quando il peso C sarà in 0 ed il peso G in V, si avrà ancora: G:O:: OP: YT, e se invece dei pesi C e G si prendono le linee BI e BC, che sono nello stesso rapporto, si potranno conoscere i rapporti di tutti seni come LM ed 0 P colle verticali YR ed YT. Da un altro lato sarà facile determinare le perpendicolari RS e TV per avere i punti S e V della curva, giacchè la distanza del centro della carrucola F a ciascun punto S e V sarà sempre eguale alla differenza della lunghezza della corda compresa da A sino in G, alle parti KEF ed NEF, che van sempre diminuendo di mano in mano che la leva si accosta alla verticale. Noi abbiam dunque quanto occorre per costruire la curva che sarà geometrica, non impiegando nella sua costruzione se non grandezze di conosciuto rapporto. E siccome questo rapporto delle grandezze è indicato dai seni, mi parve che per dare a questa curva un nome derivato dalla sua genesi stessa si dovesse chiamar Sinusoide.

Costruzione della Sinusoide.

Bisogna dividere prima di tutto il quadrante circolare CQ in un gran numero di parti eguali: da ciascun punto di divisione come L ed O abbassare le perpendicolari LM, OP ec. sul semidiametro CB; condurre i raggi BK, BN ec. come pure le rette KE, NE ec., cercar quindi alle rette BC, BI ed al seno LM (che considereremo come.il minore di tutti), una quarta proporzionale che si porterà sulla verticale FH, cominciando dal punto Y, che corrisponde immediatamente al disotto del peso G; e supposto che YR sia eguale alla quarta proporzionale trovata, si innalzerà al punto R la perpendicolare RS indefinita; si cercherà pure alle linee BC, BS [e.c.: BI] ed al seno OP (che supponiamo immediatamente succedere al più piccolo LM) una quarta proporzionale, che si porterà da Y sino in T, e siinnalzerà ancora la perpendicolare TV.

Il triangolo CBI essendo rettangolo ed isoscele, sarà cosa facilissima il trovare le quarte proporzionali, di cui abbiamo bisogno; perchè se prendesi ciascun seno come LM od OP pel lato d' un quadrato, la diagonale di questo quadrato sarà quarta proporzionale alle linee BC e BI ed al seno che si sarà preso per lato del quadrato; il che è evidente a motivo dei triangoli simili.



Quando si avranno tutte le perpendicolari come RS, TV ec. si condurrà una linea de, eguale in lunghezza alla corda AEFG; si prenderà su questa linea, cominciando dalla estremità d, la parte df eguale alla distanza del centro della puleggia F al peso G, cioè eguale alla parte di corda parallela alla verticale FH, quando la leva AB è orizzontale; si prenderà la differenza della linea KE, che corrisponde al raggio della prima divisione, alla linea KE [e.c.: AE],e si porterà questa differenza da f sino in h; allora, fatto centro in quello della carrucola con intervallo dh si descriverà un arco che tagliando la perpendicolare RS, darà il punto S, che è uno di quelli della curva, per mezzo de' quali si avrà l'ordinata Sa e la sua ascissa Ya. Cosi presa la differenza delle linee NE ed AE per portarla da f in j, fatto centro in quello della carrucola con intervallo dj, si descriva un arco, che tagli la perpendicolare TV, in un altro punto V che apparterrà alla curva e che darà l'ordinala Vb e l' ascissa Yb. Finalmente giunto in E il punto N tutta la linea AE potrà esser presa per la sua differenza col zero, e portandola da F in K [e.c.: f in k]; poi coll'intervallo LK [e.c.: dk] si descriverà col solito centro un arco che incontrando la prima perpendicolare HX, darà il punto X, che sarà quello della curva ove va a fermarsi il peso G, quando la leva AB è verticale.
Credo inutile il dire che a disegnare esattamente la curva bisogna prendere i seni vicinissimi l'uno all'altro, per avere un gran numero di punti come S, V, ec. È qui opportuno il notare che la maggior ordinata ZX od YH della curva è eguale alla perpendicolare BI, cioè al lato del quadrato la cui diagonale sarà lunga come la leva AB; ora siccome la linea YH sarà maggiore di tutte le quarte proporzionali che bisognerà cercare per costruire la curva, la si sarà solo trovata quando la leva AB sarà verticale, e siccome allora formerà un angolo retto coll'orizzonte, il seno di quest'angolo sarà eguale al raggio BQ, e si avrà quindi BC:BI::BQ:YH; ma siccome in questa proporzione i due antecedenti BC e BQ sono eguali perchè raggi dello stesso cerchio, i due conseguenti BI e YH saran pure eguali.
E però conoscendo la lunghezza della leva AB, si potrà sempre conoscere a qual punto della verticale FH, andrà a terminare la base HX della sinusoide, quando si sarà determinata la posizione del punto Y, origine della curva.
Si noti ancora che tutto quanto abbiam detto può applicarsi al punte levatoio, perché la leva AB può prendersi pel profilo del tavolato che gira attorno ai suoi perni B, e il cui peso è riunito al centro di gravità C; così non si tratterà più che d'eseguire
quanto può agevolarne il movimento, il che vedremo nella applicazione seguente.

Applicazione della Sinusoide ai ponti levatoj.
Determinala la larghezza IK della porta (fig. 2) ch'è, come abbiam detto di 9 o 9 piedi e mezzo, bisogna a dritta e a sinistra scostare i piedritti della volta di circa 4 piedi al di là dello spazio IGGI

per praticarvi due nicchie in cui collocare i canaletti BF, lungo i quali devono scorrere i pesi che servir debbono a mettere in movimento il ponte, e che noi chiameremo pesi del bilico.
L'altezza d'uno dei canaletti è rappresentato nel profilo della porta (fig. 3), ove vedesi che la curva FTT non è altro che la sinusoide eseguita in muratura; questo profilo indica pure che il peso del bilico D è attaccato ad una catena che passa su due puleggie B ed A per unirsi alla traversa C del ponte; dovendosi concepire che dietro lo spazio IGGI si son praticate delle fessure nel muro per situarvi le puleggie, acciò la catena che deve imprimere il movimento al ponte possa andare e venire liberamente, al qual uopo supponesi che la catena sia rotonda. Si noterà pure che la traversa deve essere più lunga non che sia largo il ponte, perchè le catene che stanno alla sua estremità si trovino dicontro alle puleggie.
Se i pesi del bilico sono in equilibrio col ponte, è certo che, per la proprietà della sinusoide, a qualunque punto si voglia del quadrante circolare GR, il ponte resterà sempre immobile, da C in R , senza che i pesi lo trattengano, perchè staranno anche essi immobili al luogo dei canaletti; conseguentemente basterà che si ajutino qualche poco i pesi a vincer l'attrito, perchè il ponte si alzi, senza essere costretti ad adoperare una forza considerevole per far loro descrivere il quadrante circolare CR, il che accadrà con movimento uniforme e senza scuotimenti. Nell'egual modo quando si vorrà abbassarlo, non si avrà che a spingere il tavolato per farlo discendere, e passarvi poi sopra per assicurarlo all'ultimo cavalletto fisso con chiavistelli.
Non essendo io d'avviso che si tocchino i pesi del bilico, per la difficoltà che si avrebbe a pervenirvi, non v'ha mezzo più semplice per obbligar questo peso a discendere, che attaccar due catene al ponte a tre piedi circa al di là della traversa, ciascuna delle quali si accavallerà ad una puleggia situata in mezzo ai tavolati della porta, e innalzati 9 piedi al di sopra del livello della strada; sicchè quando si vorrà chiuder la porta, bisognerà che vi sia un uomo che tiri ciascuna catena per alzare il ponte, il cui movimento è tanto naturale che inutile sarebbe il più parlarne. Passerò in vece a parecchi dettagli che è necessario conoscere, per saper trovare i pesi del bilico, la loro grossezza, la grandezza dei canali, e le altre circostanze essenziali all'intelligenza del ponte.
La prima cosa che saper bisogna è che un piede cubico di legno di quercia pesa 60 libbre, e un piede cubico di ferro ne pesa 580: e però, esaminando le dimensioni dei pezzi che formar devono l'ossatura del ponte, sarà facile il conoscere quanti piedi cubici di legno entrino in essa, e quindi quanto debba pesare quest'ossatura. Se si fa la traversa più lunga del solito, perchè le catene che devono essere attaccate alle sue estremità si trovino direttamente dicontro alla puleggia, bisognerà darle quattordici piedi di lungbezza e 10 pollici di riquadro, acciò questo pezzo, che ha un grande sforzo da sopportare, quando si mette il ponte in movimento non corra pericolo di rompersi in progresso di tempo.
I perni si fan sempre di 10 piedi di lunghezza sopra 10 o 12 pollici di grossezza. Vi sono sei travicelli, lunghi 12 piedi, sopra 5 o 6 pollici di grossezza, che servono a portare il palco del ponte, composto di panconi di due pollici di grossezza, e che copre uno spazio di i2 piedi di lunghezza sopra 10 di larghezza. Tutto ciò forma l'ossatura del tavolato, che ascende a 51 piedi, 8 pollici e 4 linee cubiche, che moltiplicate per 60, danno 3102 libbre pel peso dell'ossatura, al quale proposito deve notarsi che avendo la traversa maggior peso che il perno, le estremità del ponte non sono eguali. Le 3102 libbre possono pertanto considerarsi come il peso che dee supporsi trasportato alla metà della sua lunghezza. Bisogna dunque vedere a che possa ammontar la differenza, che sarà facile a conoscere: perchè la traversa contiene 9 piedi, 8 pollici ed 8 linee cubiche, e i perni 6 piedi, 11 pollici ed 8 linee, quindi la differenza è di 2 piedi e 9 pollici, il cui peso ammonta a 165 libbre. Ora queste 165 stando all'estremità della leva, fan due volte più effetto rispetto al punto d'appoggio che se fossero nel punto di mezzo della stessa leva. Bisogna dunque aumentare le 3102 libbre di 165 ed allora il peso dell'ossatura, riunito al centro di gravità, sarà di 3267 libbre.
Per conservare il tavolato del ponte levatojo lo si copre con spranghe di ferro di 7 piedi di lunghezza e un po' più di due pollici di larghezza, e ve ne entrano per solito 32; e siccome ciascuna vi è attaccata con quattro ramponi, invece di 7 piedi di lunghezza gliene supporremo 7 e mezzo per comprendervi i ramponi. Queste trentadue spranghe faranno dunque insieme 240 piedi di

lunghezza, ai quali bisogna ancora aggiungerne altre 6, ciascuna della lunghezza di 6 piedi, che pongonsi al di sotto del tavolato per commettere la traversa e il perno coi travicelli per cui fanno in tutto 276 piedi. Il peso d' un piede di questa sorta di spranghe essendo di tre libbre, esse peseranno unite 828 libbre che sommate col peso dei legnami daranno 4095 libbre, peso totale del ponte riunito al centro di gravità.

Sarà facile adesso il conoscere il peso del bilico: si sa che il peso del ponte sta a quello del bilico, nello stato d'equilibrio, come la diagonale d'un quadrato sta al lato dello stesso quadrato, o come il seno dell'angolo retto a quello del semiretto. Si darà dunque: se 100000 danno 70710, che daranno 4095 libbre; peso del ponte per quello dei pesi? E si troverà 2895 libbre, la cui metà, 1447, sarà il valore di ciascun peso. Ma siccome per aver riguardo all'attrito val meglio farli più pesanti che troppo leggieri, perchè non si possono aumentare, invece, che non v'ha alcun inconveniente a sovraccaricare il ponte,se si trovasse al di sotto dell'equilibrio, sarà opportuno per tutte queste considerazioni aumentare ciascun peso di 100 libbre, cioè farli di 1547 libbre invece di 1447. Non ho detto che i pesi del bilico debbano essere cilindrici, perchè si sa bene che può darsi loro la più conveniente figura, onde scorrano facilmente lungo i canali. Trattasi dunque di sapere qual sarà il valore dell'asse di questi cilindri, o quello del diametro della loro base, che è poi lo stesso, supposte queste due linee eguali , perchè i pesi abbian minor volume.

Siccome un piede cubico di ferro pesa 580 libbre, cominciamo dal cercare il peso del cilindro inscritto in un piede cubico. Si noti, a tal fine, che questi due solidi avendo la medesima altezza, staranno nello stesso rapporto della loro base, quindi come il quadrato del diametro di un circolo sta alla superficie dello stesso circolo, o se vuolsi come 14:11. Bisogna dunque dire come 14 sta ad 11, così 580, peso del piede cubico di ferro, sta a quello del cilindro circoscritto, che si troverà di circa 456 libbre.

I cilindri simili stando fra loro nella ragione dei cubi del loro asse, potrà dirsi: se un cilindro di 456 libbre, il cui diametro della base o l'asse sono ciascuno d'un piede, dà 1728 pollici pel cubo del suo asse, quanto darà 1547 libbre, peso di un altro cilindro, simile al precedente pel cubo del suo asse? e si troveranno 5862 pollici, da cui estraendo la radice cubica si avranno 18 pollici, valore dell'asse domandato. Non e dunque difficile trovare i pesi del bilico nella giusta loro proporzione, perchè non si ha che a domandare alle fucine, ove fondesi il ferro, due pesi ciascuno di 1747 libbre, e si darà ad essi per base un circolo di 18 pollici di diametro e per asse una linea eguale a questo diametro.

Soggiugnerò che a questi pesi deve praticarsi nel mezzo un foro d'un pollice in quadrato, perchè possa passarvi un asse che serve a trattenere la cappa, che deve facilitare il movimento lungo i canali. Questa cappà è rappresentata sulla tavola XIX, fig. 4, ove accompagna il peso indicato colla lettera V. Ho detto che questo asse debbe essere piuttosto quadrato che tondo, perchè sembrami, per diminuire l'attrito, sia cosa più conveniente che l'estremità dell'asse, essendo arrotondate, girino col peso nella cappa, che se il peso girasse intorno all'asse.

I canaletti saranno costruiti in pietra da taglio durissima; la loro lunghezza dev'essere di quattro piedi e mezzo, e la loro larghezza di 18 pollici sopra altrettanti di grossezza; i canali saranno incavati a 6 o 7 pollici di profondità terminati da due lembi di 8 pollici di grossezza, per tenere in luogo i pesi e sempre su la stessa via.

Nel fondo di ciascun cavetto si mettono due barre di ferro piatte curvate come la sinusoide: su queste basi gireranno i pesi per diminuire l'attrito, che sarà molto meno considerabile che se la superficie dei cilindri toccasse in ogni punto girando; inoltre serviranno ancora queste spranghe ad impedire che l'attrito logori le pietre; e perché i pesi non le tocchino in alcun luogo è necessario egualmente applicare delle strisce di ferro contro i lembi dei canali, lungo i quali, i due circoli o basi di ciascuno cilindro, possano scorrere senza mai guastarsi, e basterà che fra l'uno e l'altro vi sia uno spazio di due o tre linee, perchè il peso scorra in esso senza divergere da alcuna parte. Supponendo dunque che le spranghe applicate contro i lembi abbiano ciascuna tre linee di grossezza, ne importeranno 6 per tutt'a due, le quali sommate coll'asse del bilico, cioè con 18 pollici, o se vuolsi con 18 pollici e 4 linee, comprendendovi le quattro linee da assegnarsi per lo scorrimento dei pesi, si avranno 18 pollici e l0 linee, larghezza dei canali: così qualunque sia il valore dei pesi, di cui si

conoscerà l' asse, si saprà al giusto, prese in considerazione tutte queste circostanze, la larghezza in opera da darsi ai cavetti.
Assegnando 18 poll. e l0 linee di larghezza ai cavetti, e 8 poll. di grossezza a ciascun lembo, si avranno 3 piedi in tutto, i quali, presi su la lunghezza di 4 piedi e mezzo o cinque piedi, che devono avere le pietre che servono alla costruzione dei cavetti, resterà un capo d'un piede e mezzo o due piedi, che deve essere commesso colla muratura contro la quale i cavetti saranno praticati; questa precauzione sarà necessaria per render l'opera più solida. Converrebbe di più aver pietre di due sorta di lunghezza, le une di 5 piedi, l'altre di 5 piedi e mezzo, per connetterle alternativamente di 2 piedi a 2 piedi e mezzo. Quanto alle altre estremità che compariranno all'esterno, bisogna che sien bene murate le une contro le altre e imbragate con spranghe di ferro; notando di situare degli uncinetti di 2 piedi in 2 piedi nelle commessure delle pietre al di sopra dei lembi di ciascun cavetto, perchè quando si debbano fare alcune riparazioni ai cavetti, ai piedi del bilico, alle catene ed alle puleggie, si possa, posando delle tavole su questi uncinetti dare facilità agli operai di salire e discendere lungo i cavetti.
A costruire i cavetti in modo che formino una curvatura che sia esattamente quella della sinusoide, bisogna descrivere questa curva in grande e farne due garbi con tavole, l'uno dei quali rappresenta la convessità, l'altro la concavità della sinusoide; quest'ultima, è necessaria assolutamente agli operaj per regolarli nel taglio delle pietre, e per aiutarli a metterli in opera nella vera loro situazione.
È necessario che le nicchie sien chiuse con assiti di panconi; basterà praticarvi una piccola porta, per entrarvi occorrendo: così il passaggio della porta sarà come al solito, senza che nulla vi si veda di quanto è necessario a mettere in movimento il ponte.
Credo aver detto abbastanza per spiegare l'esecuzione del ponte descritto. Lascio agli abili pratici che vorranno valersene l'introdurvi i cambiamenti che crederanno opportuni. Ma siccome tutto ciò che ha l'aspetto di novità, trova censori che si fanno un piacere di rinvenire per tutto difficoltà anche nelle cose più piane, sappiasi che poco tempo dopo aver io immaginato questo porta, l'ho fatto eseguire in un castello nei dintorni di Fère, e che mi sono attenuto press'a poco a quanto è stato spiegato.
Si fanno ponti levatoj nelle opere esterne, come mezzelune, opere a corna, ec. per chiudere l'entrata. Si alzano per mezzo dei bilichi a leva, perchè non essendo necessario di coprir coi frontoni le porte di questa sorta di passaggi non si ha timore di tagliar l'architettura , basta che l'entrata sia ornata di pilastri, come può vedersi nelle tre prime figure della Tav. XVllI, opportunissime quando le opere staccate son rivestite di muratura sino al parapetto. Ma quando non lo sono che a metà, è inutile allora farvi alcun ornamento, e basta far portare il bilico da un telajo che deve esser posto su la sponda di riparo, come ho espresso nella quarta e quinta figura della stessa Tavola, che io non mi fermerò a spiegare perchè nulla contengono che sia difficile a concepirsi.
Il Navier ha ricavato l'equazione del ponte dimostrando che in realtà non si tratta di una "sinusoide" " ma di una epicicloide (pag 375)

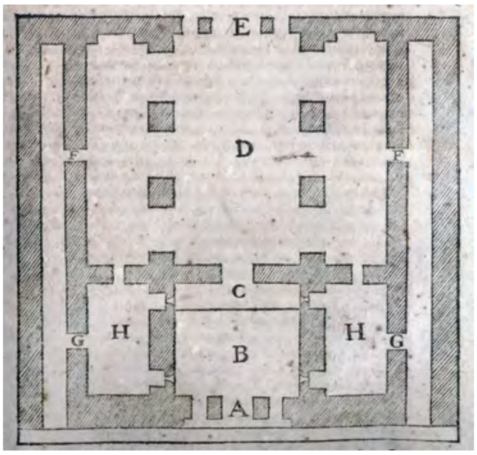
Equazione del ponte
Posto: BE = AB = a SFEA = l EK = z' FS = z".“I*mmaginiamoci, per maggior semplicità, che il peso C del tavolato sia diviso in due parti / in ragione inversa delle distanze CA e CB del suo centro di gravità a ciascuna delle sue estre-/ mità; la parte portala in A, e che produce la tensione della corda AE, sia chiamata m'. Chia-/ miamo m" il contrappeso G; supponendo che il peso m' sia giunto in K, sieno x' ed y le di-/ stanze di questo punto alle linee BE e BA, considerate come assi, e chiamiamo egualmente / x" ed y" le distanze del punto corrispondente S alle linee HF ed HX."* .....
Saltando i passaggi della dimostrazione si arriva a:

$$2\,l\,z'' - z''^2 = \frac{2\,a\,m''\,y''}{m'}$$

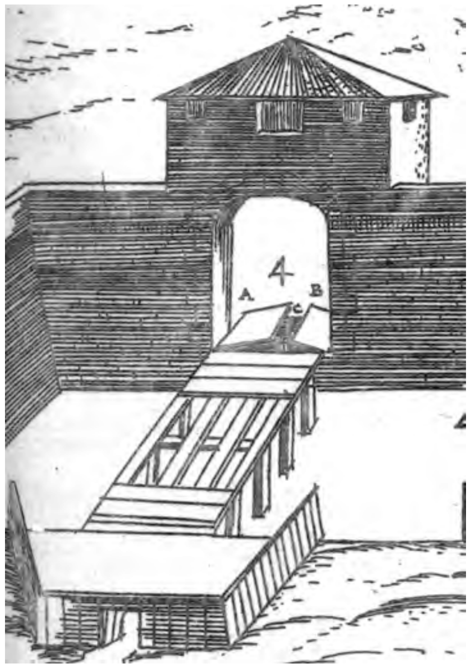
essendo z' la linea EK e z" la FS, con l costante uguale a z'^2+z'' *"che, come è noto, appartiene all'epicicliode, in cui i circoli generatori sono eguali."*

IL CASO DI TORINO

Il Busca, nel suo trattato di architettura militare riporta la pianta della porta e del corpo di guardia del Mastio della Cittadella di Torino [2] . Nel testo scrive *"C, foſſetta inanzi la ſeconda porta, doue è vn ponte leuatore"*.
Di tale ponte, dopo tutte le ristrutturazioni del mastio, non ve n'è più traccia e difficile è ipotizzarne la struttura.
La soluzione del problema la si può ritrovare nel De Ville che nel suo trattato [3] riporta:
«I'ay veu à Turin vne autre ſorte de Põt, lequel s'ouure à Portes, & ſe fait / dans la Ville apres la Porte; on fait vn creux quarré, comme pour faire la / bacule, lequel on ferme & ouure par deſſus auec deux Portes vne de cha- / que coſté, qui ſe joignent ſur vn ou deux piliers au milieu, & font le Pont, / comme en la Figure 4. Les deux Portes AB eſtans hauſsées font Parapet / de chaque coſté, auſquelles on peut faire des Cannonieres; eſtans baiſsées / ſereuent de Pont, s'apuyãs ſur les piliers C pour eſtre plus fermes. Ce Pont / nepeut eſtre rompu, ni petardé, mais il faut qu'il ſoit en dedans la Place.»
De Ville non specifica di quale porta si tratti, ma dal confronto con il Busca si può concludere che si possa trattare proprio di quella del Mastio della Cittadella, risolvendo il problema.



Pianta del Busca del Mastio



Disegno del De Ville che si può ritenere riproduca il "ponte interno" del Mastio della Cittadella di Torino

BIBLIOGRAFIA

BELIDOR (BERNARD FOREST DE), *La science des Ingénieurs dans la conduite des travaux de fortification, et d'architecture civile*. Paris 1729
BELIDOR (BERNARD FOREST DE), *La scienza degli Ingegneri nella direzione delle opere di fortificazione e d'architettura civile*. Milano 1864
BUSCA GABRIELLO, *Della architettura militare*, Milano 1601
CANTÙ CESARE, *Sulla Guerra – Dottrine e fatti relativi alla Storia Universale*, Torino 1846
DE VILLE ANTOINE, *Les Fortifications*. Lyon 1629-1636
DUFOUR GUILLAUME HENRI, *De la fortification permanente*, Genéve 1822
FRITACH ADAM, *L'architecture militaire ou La fortification nouvelle*, Leide 1635.
MARTINI FRANCESCO DI GIORGIO, T*rattato di architettura civile e militare, per cura del cavaliere Cesare Saluzzo*, Torino 1841
PLESSIX H. ET LEGRAND E., *Manuel complet de fortification*, Paris 1883

[2] Busca G.: pag. 235

[3] De Ville A.: pag 204, tav